

Informacje uzupełniające: Zasady projektowania otworów w środnikach belek

Dokument ten przedstawia zasady projektowania belek z okrągłymi i prostokątnymi otworami w środniku. Przedstawiona metoda projektowania jest odpowiednia zarówno do belek stalowych, jak i zespolonych.

Zawartość

1.	Wstęp	2
2.	Uproszczone projektowanie pojedynczych otworów	2
3.	Projektowanie szczegółowe	4
4.	Belki specjalne, projektowane przy użyciu oprogramowania komputerowego	16
5.	Literatura	16

1. Wstęp

W wielu budynkach, w celu zmniejszenia wysokości poszczególnych kondygnacji, obszar poniżej podłogi przeznaczony na konstrukcję i na instalacje jest połączony ze sobą, tj. jest wspólny dla konstrukcji i instalacji. W takim przypadku zachodzi potrzeba wykonywania różnego typu otworów w środnikach belek stropowych. Takie otwory mogą być ukształtowane formie regularnych, okrągłych kształtów, tak jak w wypadku belek ażurowych, lub mogą występować jako pojedyncze, w belkach walcowanych lub blachownicach.

Niniejszy dokument przedstawia trzy sposoby projektowania belek z otworami w środniku, przedstawione od najprostszych do najbardziej złożonych.

2. Uprozczone projektowanie pojedynczych otworów

2.1 Otwory okrągłe

2.3.2.1 Otwory bez wzmocnienia

Okrągłe otwory bez wzmocnienia mogą być umieszczone w środniku belki bez głębszej analizy ich wpływu na nośność przekroju poprzecznego, pod warunkiem że:

- a) Element spełnia wymagania przekroju klasy 1 lub 2.
- b) Otwory są umiejscowione w środku wysokości belki, w obszarze jednej trzeciej jej wysokości.
- c) Otwory są umieszczone w osi belki.
- d) Otwory są umieszczone w obszarze środkowej połowy rozpiętości belki.
- e) Osiowy rozstaw sąsiednich otworów, mierzony poziomo, jest nie mniejszy niż 2,5-krotność średnicy większego z otworów.
- f) Odległość od środka każdego otworu do najbliższego punktu przyłożenia obciążenia skupionego jest nie mniejsza niż wysokość belki.
- g) Obciążenie belki składa się zasadniczo z obciążenia równomiernie rozłożonego.
- h) Największa siła poprzeczna w elemencie nie przekracza 50% nośności przekroju osłabionego przy ścinaniu.

2.2 Otwory prostokątne

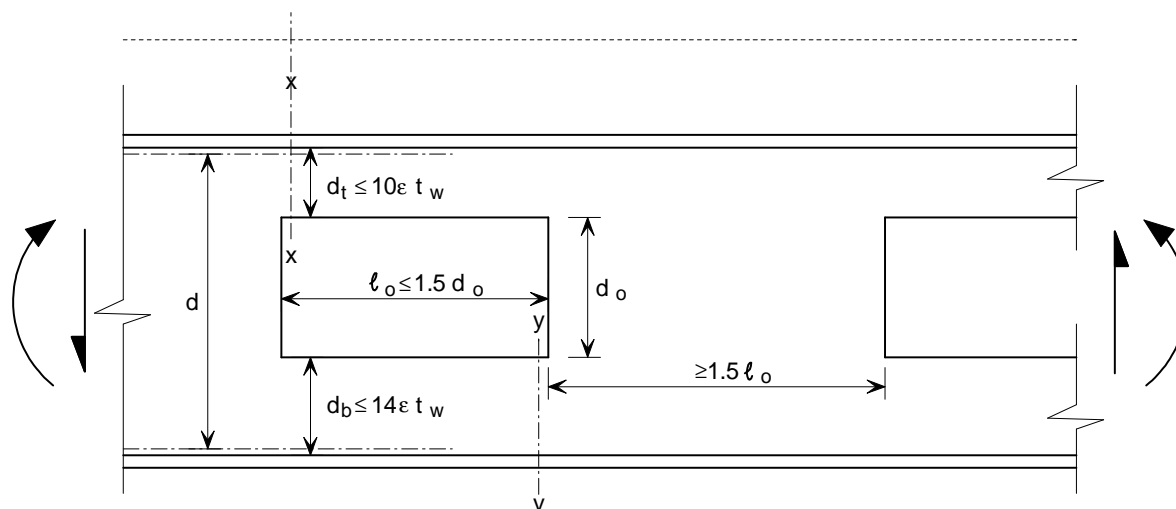
Pojedyncze otwory prostokątne mogą być umieszczone wzdłuż belki, pod warunkiem, że ich wymiary i rozstaw spełniają opisane niżej warunki.

Wzmocnienie środnika może być wykonane powyżej i poniżej otworu, w celu skompensowania redukcji nośności przy ścinaniu. Wzmocnienie powinno rozciągać się poza

otwór na taką odległość, aż lokalne naprężenia ścinające powstające od przekazania siły pomiędzy wzmocnieniem a środnikiem nie będą przekraczać wartości $f_y/(\sqrt{3}\gamma_{M0})$.

2.3.2.1 Otwory bez wzmocnienia

- Wysokość środnika powyżej i poniżej otworu spełnia warunki pokazane na Rys. 2.1.
- Wysokość otworu nie powinna przekraczać 60% wysokości belki.
- Długość otworu nie powinna przekraczać 150% wysokości otworu.
- Odległość między brzegami otworów powinna wynosić co najmniej 150% długości dłuższego z otworów.
- Naprężenia styczne w przekroju netto otworu nie powinny przekraczać $f_y/(\sqrt{3}\gamma_{M0})$.
- Naprężenia w przekroju X-X oraz Y-Y na Rys. 2.1 od działania lokalnej siły podłużnej powinny spełniać warunki [PN-EN 1993-1-1 §6.2.10](#). W ocenie ścinania wywołanego zachowaniem się belki jako ramy Vierendeel'a, nie powinno uwzględniać się wpływu płyty stropowej.
- Odległość jakiegokolwiek części otworu od najbliższego miejsca przyłożenia siły skupionej nie powinna być mniejsza niż połowa wysokości elementu (lub większa niż zasięg naprężeń od siły skupionej, przy założeniu ich rozkładu rozchodzącego się pod kątem 45° od wierzchu belki).



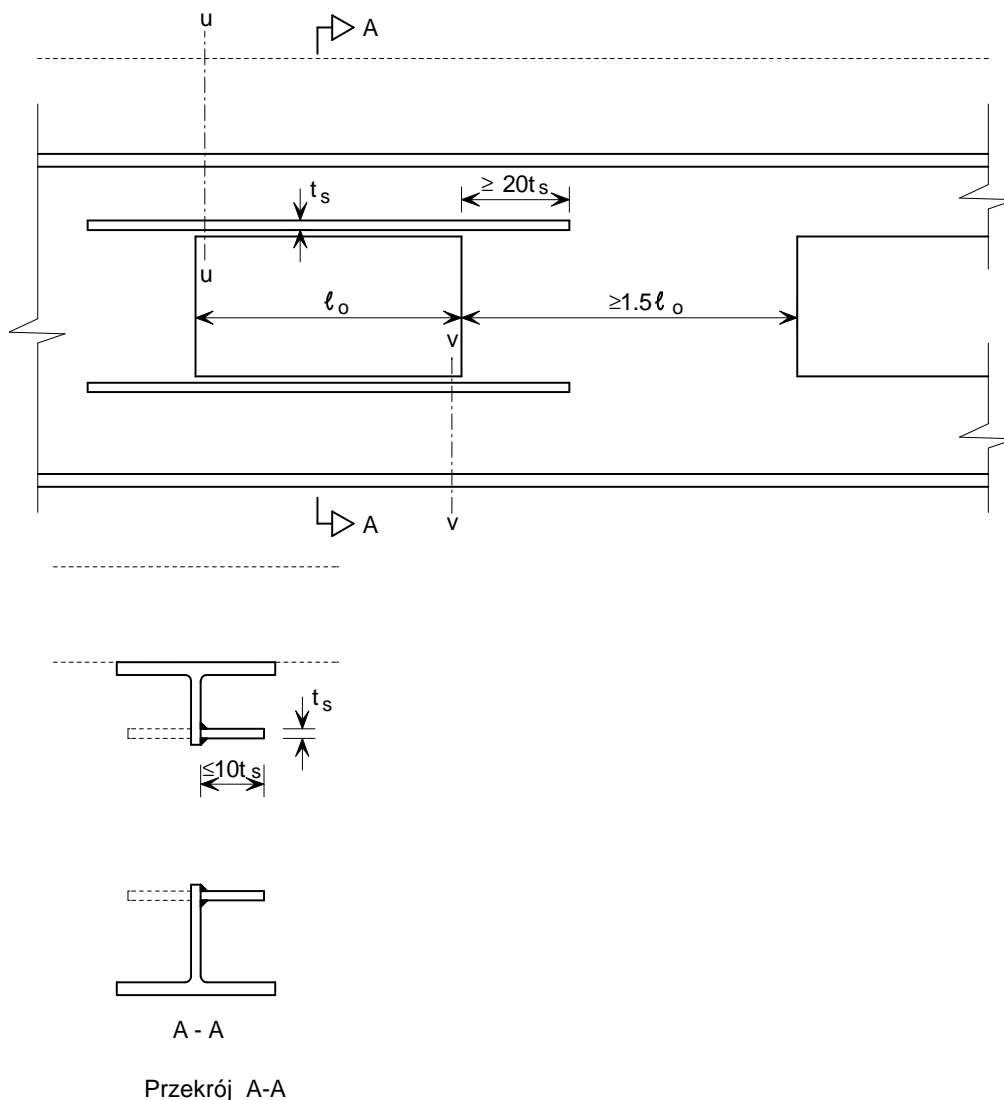
Rys. 2.1 Proporcja wymiarów otworów bez wzmocnienia

2.3.2.1 Otwory ze wzmocnieniem

- Proporcja wzmocnienia i odstępów między otworami powinna spełniać wymagania pokazane na Rys. 2.2. Najmniejszy zasięg żebra wzmocniającego wychodzącego poza otwór powinien wynosić co najmniej $20t_s$, gdzie t_s jest grubością żebra.
- Pozioma oś otworu nie powinna być odchylona więcej niż o $d/10$ od podłużnej osi belki.
- Naprężenia styczne w przekroju netto otworu nie powinny przekraczać $f_y/(\sqrt{3}\gamma_{M0})$.
- Naprężenia w przekroju U-U oraz V-V na Rys. 2.2 od działania lokalnej siły podłużnej, zachowania się belki jako ramy Vierendeel'a oraz siły ścinającej powinny

spełniać warunek [PN-EN 1993-1-1 §6.2.10](#). W ocenie ścinania i zginania spowodowanego zachowaniem się belki jako ramy Vierendeel'a, pionowa siła poprzeczna jest podzielona równo pomiędzy górną i dolną część teową belki i nie należy uwzględniać udziału żelbetowej płyty stropowej w jej przenoszeniu.

- e) Odległość jakiegokolwiek części otworu do najbliższego miejsca przyłożenia siły skupionej nie powinna być mniejsza niż połowa wysokości elementu.



Rys. 2.2 Proporcja wymiarów otworów ze wzmocnieniem

3. Projektowanie szczegółowe

Opisana niżej metoda projektowania oparta jest na zaleceniach podanych w [1], które są częścią raportu końcowego z projektu RFCS „Large web openings for service integration in composite floors”. Metoda ta może być użyta do stosowania w przypadku belek stalowych i zespolonych. W przypadku belek stalowych, terminy dotyczące wpływu płyty żelbetowej i wpływu zespolenia należy pominąć. Reguły odnoszą się zarówno do belek ażurowych z otworami okrągłymi, jak i do belek z otworami pojedynczymi. Metoda obejmuje także zakresem belki z otworami wzmocnionymi.

3.1 Oznaczenia

A_b	przekrój poprzeczny dolnej części teowej belki (przekrój pod otworem)
A_f	przekrój poprzeczny pasa
A_s	przekrój poprzeczny poziomego zebra usztywniającego
A_t	przekrój poprzeczny górnej części teowej belki (przekrój ponad otworem)
A_w	przekrój poprzeczny środnika w części teowej = $d_t t_{w,eff}$
b_f	szerokość stalowego pasa
d_o	wysokość otworu (lub średnica)
d_t	wysokość środnika górnej części teowej belki
d_b	wysokość środnika dolnej części teowej belki
e	górny mimośród osi otworu w stosunku do osi podłużnej belki
e_s	mimośród środka ciężkości zebra usztywniającego względem wierzchołka środnika
f_{cd}	obliczeniowa wytrzymałość na ściskanie oznaczona na próbkach walcowych
f_y	granica plastyczności stali
h	wysokość kształownika stalowego
h_{eff}	wysokość efektywna kształownika, mierzona pomiędzy środkami ciężkości części teowych
h_p	wysokość blachy profilowanej
h_s	grubość płyty
$h_{s,eff}$	odległość pomiędzy środkiem ciężkości płyty żelbetowej a przekrojem stalowym
k_ℓ	współczynnik redukcyjny uwzględniający długość otworu
ℓ_e	długość efektywna słupka środnika (obszaru między otworami) przy wyboczeniu
ℓ_o	długość otworu
$M(x)$	globalny moment zginający w punkcie x od sąsiedniej reakcji podporowej
$M_{b,red}$	zredukowana nośność przy zginaniu dolnego przekroju teowego, od rozciągania
$M_{el,T,red}$	zredukowana nośność przy zginaniu przekroju teowego
M_h	moment zginający działający na słupek środnika (fragment pomiędzy otworami)
$M_{h,e}$	nośność sprężysta przy zginaniu słupka środnika (por. wyżej)
$M_{c,e}$	moment zginający wynikający z zespolenia pomiędzy górnym przekrojem teowym i płytą stropową na długości s
$M_{pl,T,red}$	zredukowana nośność plastyczna przekroju teowego
M_v	moment zginający zachowania się belki jako ramy Vierendeel'a
$M_{vc,Rd}$	nośność przy zginaniu Vierendeel'a od zespolenia

n_{sc}	liczba łączników ścinanych na odcinku pomiędzy środkami sąsiadujących otworów
$n_{sc}(x)$	liczba łączników ścinanych na odcinku od podpory do punktu (x)
$n_{sc,o}$	liczba łączników ścinanych na długości ℓ_o
$N(x)$	osiowe rozciąganie dolnego przekroju teowego w punkcie (x)
$N_c(x)$	siła ściskająca w płycie stropowej w punkcie (x)
N_{el}	sprężysta nośność przekroju teowego przy ściskaniu, przy uwzględnieniu wysokości środnika odpowiadającego smukłości klasy 3
N_{pl}	plastyczna nośność przekroju teowego przy ściskaniu, przy uwzględnieniu wysokości środnika odpowiadającego smukłości klasy 2
P_d	obliczeniowa nośność łącznika ścinanego
r	promień wyokrąglenia w kształtownikach walcowanych
s	osiowy rozstaw otworów
s_o	odległość pomiędzy brzegami otworów
t_f	grubość pasa
t_{fb}	grubość pasa dolnego
t_{ft}	grubość pasa górnego
t_w	grubość środnika
t_{wb}	grubość środnika części dolnej
$t_{w,eff}$	grubość efektywna środnika
t_{wt}	grubość środnika części górnej
$V_{b,Rd}$	obliczeniowa nośność przy ścinaniu dolnego przekroju teowego
$V_{c,Rd}$	obliczeniowa nośność przy ścinaniu płyty stropowej
V_{Ed}	siła poprzeczna w osi otworu
V_h	pozioma siła ścinająca w słupku środnika (części środnika pomiędzy otworami)
$V_{h,eff}$	efektywna siła pozioma siła ścinająca od łącznego działania momentu i ścinania
$V_{h,Rd}$	obliczeniowa nośność przy ścinaniu siłą poziomą słupka środnika
$V_{t,Rd}$	obliczeniowa nośność przy ścinaniu górnego przekroju teowego
x	odległość od podpory do najbliższego brzegu otworu
y_e, y_{et}, y_{eb}	odległość sprężystej osi obojętnej przekroju teowego od zewnętrznej powierzchni pasa
y_p	odległość plastycznej osi obojętnej przekroju teowego od zewnętrznej powierzchni pasa
δ_{add}	przyrost ugięcia z powodu występowania otworów
δ_b	ugięcie powstałe na wskutek czystego zginania belki

- ν_c współczynnik zmniejszający wytrzymałość betonu zarysowanego przy ścinaniu według PN-EN 1992-1-1
- σ_c naprężenia ściskające w słupku środnika (fragmentie środnika pomiędzy otworami)
- $\sigma_{c, Rd}$ wytrzymałość przy ściskaniu słupka środnika (por. wyżej)

3.2 Klasyfikacja przekroju

W przypadku przekrojów klasy 1 i 2 można stosować charakterystyki geometryczne oparte na właściwościach plastycznych przekroju, zaś w przypadku przekroju klasy 3 i 4 charakterystyki geometryczne muszą być oparte na właściwościach sprężystych.

2.3.2.1 Klasyfikacja pasa

W celu klasyfikacji pasów belek należy stosować zapisy PN-EN 1993-1-1 oraz PN-EN 1994-1-1. W przypadku belek zespolonych, górny pas może być traktowany jako klasy 2 biorąc pod uwagę jego zespolenie z płytą żelbetową za pomocą łączników ścinanych.

2.3.2.1 Klasyfikacja środnika w przekroju teowym

Środnik części teowych może być klasyfikowany na następującej podstawie:

Klasa 2

$$\ell_o \leq 32t_w \varepsilon \text{ lub } d_t \leq \frac{10t_w \varepsilon}{\sqrt{1 - \left(\frac{32t_w \varepsilon}{\ell_o}\right)^2}} \quad (1)$$

Klasa 3

$$\ell_o \leq 36t_w \varepsilon \text{ lub } d_t \leq \frac{14t_w \varepsilon}{\sqrt{1 - \left(\frac{36t_w \varepsilon}{\ell_o}\right)^2}} \quad (2)$$

Do oceny stateczności środnika, długość efektywna otworu ℓ_o może być przyjmowana jako rzeczywista długość otworów prostokątnych, $0,7d_o$ w przypadku otworów okrągłych i rzeczywista długość zmniejszona o wartość $0,3d_o$ w przypadku otworów okrągłych wydłużonych.

2.3.2.1 Wpływ osiowego rozciągania na klasyfikację przekroju

Klasyfikacja przekroju nieusztynwionej części teowej ulega zmianie, jeśli dolna część teowa podlega rozciąganiu.

Klasa 3 środnika może być traktowana jako klasa 2, jeżeli:

$$\frac{N(x)}{A_b f_y} \geq 1 - \frac{20t_w^2 \varepsilon f_y}{A_b f_y} \quad (3)$$

Klasa 4 środnika może być traktowana jako klasa 3, jeżeli:

$$d_b \leq \frac{14t_w \varepsilon'}{\sqrt{1 - (36t_w \varepsilon' / l_o)^2}} \quad (4)$$

oraz jeśli

$$l_o > 36t_w \varepsilon'$$

gdzie $\varepsilon' = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1 - N(x)/(A_b p_y)}}$

3.3 Nośność przy ścinaniu

2.3.2.1 Nośność przy ścinaniu przekroju teowego

Nośność przy ścinaniu górnej i dolnego przekroju teowego belek blachownicowych określana jest z zależności:

$$V_{t,Rd} = d_t t_{wt} f_y / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) \quad (5)$$

oraz

$$V_{b,Rd} = d_b t_{wb} f_y / (\gamma_{M0} \sqrt{3})$$

W przypadku kształtowników walcowanych na gorąco, nośność przy ścinaniu jest obliczana według zależności:

$$V_{t,Rd} = 0,9[(2r + t_{wt})/2 + d_t t_{wt}] f_y / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) \quad (6)$$

oraz

$$V_{b,Rd} = 0,9[(2r + t_{wb})/2 + d_t t_{wb}] f_y / (\gamma_{M0} \sqrt{3})$$

2.3.2.1 Nośność przy ścinaniu płyty żelbetowej

Nośność przy ścinaniu płyty żelbetowej jest obliczana uwzględniając jej szerokość efektywną, wynoszącą trzykrotność grubości płyty i szerokość pasa belki.

$$V_{c,Rd} = (3h_s + b_f)(h_s - h_p) v_c \quad (7)$$

Gdzie v_c jest wytrzymałością betonu przy ścinaniu, z uwzględnieniem wpływu zbrojenia płyty. Wartość v_c może zostać wyznaczona z [PN-EN1992-1-1 §6.2.2](#) używając większej z wartości $V_{Rd,c}/b_w d$ danej równaniem (6.2a) i (6.2b). Wartość ta jest uzależniona od wartości współczynników określonych w Załączniku krajowym do PN-EN1992-1-1.

2.3.2.1 Nośność przy ścinaniu przekroju osłabionego otworem

$$V_{Ed} \leq V_{b,Rd} + V_{t,Rd} + V_{c,Rd} \quad (8)$$

W przypadku górnego przekroju teowego największa siła ścinająca jest zredukowana ze względu na zachowanie się belki jak ramy Vierendeel'a i jest określona jako:

$$V_b = 2M_{b,red} / \ell_o \leq V_{b,Rd} \quad (9)$$

Zredukowana nośność przy zginaniu dolnego przekroju teowego $M_{b,red}$ jest podana w rozdziale 3.5 jako $M_{pl,T,red}$ lub $M_{el,T,red}$.

2.3.2.1 Nośność przy ścinaniu kształowników niesymetrycznych

Nośność przy ścinaniu przekrojów teowych, niesymetrycznych względem siebie, określana jest na podstawie równowagi górnego i dolnego przekroju teowego. W przypadku wąskich słupków środnika, nośność przy ścinaniu może być w sposób przybliżony wyznaczona jako:

$$V_{Rd} = 2V_b / (1 + 2e/h_{eff}) + V_{c,Rd} \geq V_{Ed} \quad (10)$$

W przypadku szerszych słupków środnika, dokładne określenie nośności podane jest równaniem (30).

2.3.2.1 Grubość efektywna środnika uwzględniająca wpływ ścinania

$$t_{w,eff} = t_w (1 - (2p - 1)^2) \text{ for } p > 0,5 \quad (11)$$

lub

$$t_{w,eff} = t_w \text{ for } p \leq 0,5$$

gdzie

$$p = V_{Ed} / (V_b + V_{t,Rd} + V_{c,Rd})$$

2.3.2.1 Niestateczność przy ścinaniu

Nośność przy ścinaniu środnika z otworami z uwzględnieniem wpływu niestateczności jest określona w [Załączniku N ENV 1993-1-1](#). Wyrażenie (N.8a), które odnosi się do pojedynczego otworu prostokątnego jest błędne. Współczynnik redukcyjny powinien być obliczany według następującej formuły

$$(1 - (h_o/d_w + 0,3 \ell_o/d_w)) \quad (12)$$

W przypadku środników z pojedynczym dużym otworem prostokątnym uznano to wyrażenie za zbyt konserwatywne, por. [2]. Zamiast tego, w celu ustalenia nośności belki z dużym otworem prostokątnym, nośność środnika pełnego przy ścinaniu z uwzględnieniem niestateczności według PN-EN 1993-1-5 powinna być zmniejszona współczynnikiem redukcyjnym [4]:

$$\left(1 - \frac{\sqrt{d_o \ell_o}}{h_w} \right) \quad (13)$$

Metoda ta jest na tyle konserwatywna, że nie wymaga dalszego obliczania stateczności środnika również przy zginaniu spowodowanym zachowaniem się belki jak ramy

Vierendeel'a. W celu przeprowadzenia bardziej dokładnych obliczeń, pełną procedurę projektową przedstawiono w następujących rozdziałach.

3.4 Wpływ globalnego zginania

2.3.2.1 Ściskanie w płycie żelbetowej

Nośność przy zginaniu w odległości x mierzonej wzdłuż belki zależy od liczby łączników ścinanych na rozpatrywanym dystansie. Siła ściskająca płytę jest określona jako:

$$N_c(x) = n_{sc}(x) P_d \quad (14)$$

2.3.2.1 Rozciąganie w dolnym przekroju teowym

Siła rozciągająca w dolnym przekroju teowym wynikająca ze zginania jest wyliczona następująco:

W przypadku częściowego zespolenia:

$$N(x) = \frac{M(x) - N_c(x) \left(\frac{(h_s + h_p)}{2} + y_{et} \right)}{h - y_{et} - y_{eb}} \quad (15)$$

W przypadku pełnego zespolenia:

$$N(x) \leq \frac{M(x)}{h + h_{s,eff} - y_{eb}} \quad (16)$$

2.3.2.1 Siła w górnym przekroju teowym

Siła w górnym przekroju teowym jest określona jako różnica pomiędzy $N(x)$ i $N_c(x)$, która powinna spełniać także warunek:

$$|N(x) - N_c(x)| \leq A_t f_y \quad (17)$$

2.3.2.1 Najmniejsza liczba łączników ścinanych

Najmniejsza liczba łączników ścinanych, którą należy zapewnić w każdym położeniu otworu wyznaczona jest z zależności:

$$N_c(x) \geq 0,5N(x) \quad (18)$$

tj. pomiędzy każdym otworem a końcem belki występuje wystarczająca liczba łączników ścinanych taka, aby połowę siły ściskającej powstającej od zginania przenieść na płytę.

Nie ma ograniczenia liczby łączników ścinanych w obszarze obok podpór, pod warunkiem że najmniejsza liczba łączników ścinanych występuje w przęśle. Łączniki ścinane na końcowym odcinku belki o długości 300 mm powinny być pominięte, ponieważ w fazie projektowania belki nie jest szczegółowo rozstrzygnięty ich ostateczny kształt i rozstaw.

3.5 Nośność przy zginaniu przekrojów teowych

2.3.2.1 Nośność plastyczna

$$M_{pl,T} = A_w f_y (d/2 + t_f - y_p) + A_f f_y (t_f/2 + y_p^2/t_f - y_p) + A_s f_y (d_t - e_s + t_f - y_p) \quad (19)$$

$$y_p = (A_f + A_w + A_s) \cdot t_f / (2A_f) \text{ for } A_s \leq A_f - A_w \quad (20)$$

2.3.2.1 Nośność sprężysta

$$M_{el,T} = \frac{A_w f_y (d_t/2 + t_f - y_e)^2 + A_f f_y (y_e - t_f/2)^2 + A_s f_y (d_t - e_s + t_f - y_e)^2 + A_w f_y d_t^2 / 12}{(d_t + t_f - y_e)} \quad (21)$$

$$y_e = \frac{A_w (d_t/2 + t_f) + A_f t_f/2 + A_s (d_t - e_s + t_f)}{(A_w + A_f + A_s)} \quad (22)$$

Aby zapewnić, że przyległy do otworu pełny środnik ma odpowiednią nośność przy działaniu sił przekazywanych z usztywnienia otworu, przekrój poprzeczny żebra usztywniającego jest ograniczony do wielkości $0,5d_o t$.

2.3.2.1 Zredukowana nośność przy zginaniu z uwagi na siłę podłużną

Nośność plastyczna przekroju teownika bez żeber usztywniających:

$$M_{pl, T, red} = M_{pl, T} \left(1 - (N/N_{pl})^2\right) \quad (23)$$

Nośność plastyczna przekroju teownika z żebrami usztywniającymi:

$$M_{pl, T, red} = M_{pl, T} \left(1 - N/N_{pl}\right) \quad (24)$$

Nośność sprężysta przekroju teownika bez żeber, lub z żebrami usztywniającymi:

$$M_{el, T, red} = M_{el, T} \left(1 - (N/N_{el})^2\right) \quad (25)$$

3.6 Zachowanie się belki jako ramy Vierendeel'a

2.3.2.1 Efektywna długość otworu

W przypadku zginania spowodowanego zachowaniem się belki jak ramy Vierendeel'a, długość efektywna otworu ℓ_o może być wzięta jak rzeczywista długość otworu prostokątnego, $0,5d_o$ w przypadku otworów kołowych i jako odległość osiowa otworów s powiększona o $0,5d_o$ w przypadku otworów wydłużonych.

2.3.2.1 Moment zginający w ramie Vierendeel'a

Moment zginający w ramie Vierendeel'a jest określony jako:

$$M_v = V_{Ed} \ell_o \quad (26)$$

2.3.2.1 Wpływ lokalnego zespolenia

Nośność przy zginaniu momentem zginającym w ramie Vierendeel'a z powodu zespolenia płyty z górnym przekrojem teowym jest następująca:

$$M_{vc, Rd} = n_{sc,o} P_d (y_{et} + h_{s,eff}) k_\ell \quad (27)$$

Współczynnik redukcyjny jest określony wzorem $k_\ell = [1 - \ell_o / (25h_t)]$ w przypadku otworów bez wzmocnienia lub współczynnikiem $k_\ell = [1 - \ell_o / (35h_t)]$ w przypadku otworów ze wzmocnieniem. Redukcja nie jest wymagana, jeśli długość ℓ_o jest mniejsza niż pięć wysokości górnego przekroju teowego.

Nośność lokalnego zespolenia jest także ograniczona z powodu możliwego wrywania łączników ścinanych, co wymaga następującego ograniczenia:

$$M_{vc, Rd} \leq \ell_o P_d \quad \text{w przypadku jednego rzędu łączników ścinanych} \quad (28)$$

$$M_{vc, Rd} \leq 1,5 \ell_o P_d \quad \text{w przypadku dwu rzędów łączników ścinanych} \quad (29)$$

Otwory ze znacznym rozstawem

Nośność na zginanie spowodowane momentem Vierendeel'a jest określona:

$$V_{Ed} \leq (2M_{b,red} + 2M_{t,red} + M_{vc}) / \ell_o \quad (30)$$

Otwory w pobliżu siebie

W przypadku otworów rozmieszczonych blisko siebie na nośność przy ścinaniu wpływa zginanie słupka środnika, jak następuje:

2.3.2.1 Otwory o kształcie kołowym

$$V_{Ed} \leq \frac{(4M_{b,red} / \ell_o + 2M_{h,e} / s)}{1 + 2e / h_{eff}} + M_{c,s} / s \quad (31)$$

gdzie

$$M_{h,e} = s_o^2 t_w f_y / 6 \quad (32)$$

$$M_{c,s} = n_{sc} P_d (y_{c,t} + h_{s,eff}) \quad (33)$$

$$h_{s,eff} = h_s - y_{et} - y_{eb} \quad (34)$$

Wartość wyrażenia $M_{c,s}/s$ nie powinna przekraczać $V_{c,Rd}$.

2.3.2.1 Otwory wydłużone

Przy analizie otworów wydłużonych w belkach z otworami innymi niż okrągłe o rozstawie s , wartość $M_{h,e}$ powinna być wzięta jako 67% wartości wyrażenia (32) uwzględniając odległość między otworem kołowym a przyległym otworem wydłużonym i 50% wyrażenia (32) uwzględniając odległość pomiędzy sąsiadującymi wydłużonymi otworami.

2.3.2.1 Otwory prostokątne

W przypadku blisko rozstawionych otworów prostokątnych, nośność przy ścinaniu jest dodatkowo zredukowana z powodu zginania górnej części słupka środnika, jak następuje:

$$V_{Ed} \leq \frac{(4M_{b,red}/\ell_o + 2M_{h,e}/s)}{1 + (2e + d_o)/h_{eff}} + M_{c,s}/s \quad (35)$$

Wartość wyrażenia $M_{c,s}/s$ nie powinna przekraczać wartości $V_{c,Rd}$.

3.7 Nośność słupka środnika

2.3.2.1 Pozioma siła ścinająca

Ścinanie słupka środnika pojawia się z powodu wzrostu siły podłużnej w dolnym przekroju teowym. Pozioma siła ścinająca V_h jest określona:

W przypadku częściowego zespolenia:

$$V_h = \Delta N = \frac{V_{Ed}s}{h_{eff}} - \frac{M_{c,s}}{s} \quad (36)$$

W przypadku pełnego zespolenia:

$$V_h = \frac{V_{Ed}s}{h + h_{s,eff} - y_{eb}} \quad (37)$$

2.3.2.1 Nośność przy poziomym ścinaniu

Rozważając pole przekroju czynnego przy ścinaniu słupka środnika, nośność przy poziomym ścinaniu jest określona:

$$V_{h,Rd} = s_o t_w f_y / \sqrt{3} \quad (38)$$

Nie trzeba sprawdzać niestateczności słupka środnika jeśli $d_o \leq 20t_w \varepsilon$ w przypadku otworów okrągłych.

2.3.2.1 Efektywne naprężenia poziome

Utrata stateczności słupka środnika może być analizowana przez rozważenie naprężeń ściskających powstałych od efektywnej poziomej siły ścinającej w słupku środnika:

$$V_{h,eff} = V_h - 2M_h/d_o \quad \text{w dolnym przekroju teowym} \quad (39)$$

lub

$$V_{h,eff} = V_h + 2M_h/d_o \text{ w górnym przekroju teowym}$$

gdzie M_h jest momentem niezbędnym do osiągnięcia równowagi pomiędzy siłą ścinającą w dolnym i górnym przekroju teowym.

Naprężenia ściskające w słupku środnika są wyznaczone jak następuje:

$$\sigma_c = V_{h,eff} / (s_o t_w) \quad (40)$$

w przypadku $s_o \leq d_o$ (otwory okrągłe) lub gdy $s_o \leq \ell_o$ (otwory prostokątne).

Wytrzymałość przy ściskaniu $\sigma_{c,Rd}$ jest ustalona korzystając z krzywej wyboczenia c na [Rys. 6.4 PN-EN1993-1-1](#) [3], przy smukłości względnej $\bar{\lambda} = \sqrt{12}(\ell_e/t) \times (1/\lambda_1)$, gdzie λ_1 jest zdefiniowana PN-EN1993-1-1. Długość efektywna słupka środnika jest określona jako:

$$\ell_e = 0,5\sqrt{s_o^2 + d_o^2} \leq 0,7d_o \text{ w przypadku otworów okrągłych} \quad (41)$$

$$\ell_e = 0,7\sqrt{s_o^2 + d_o^2} \leq d_o \text{ w przypadku otworów prostokątnych}$$

Utrata stateczności słupka środnika nie wystąpi, jeśli:

$$\sigma_c \leq \sigma_{c,Rd} \quad (42)$$

2.3.2.1 Dokładne rozwiązanie niestateczności słupka środnika

$$V_{Ed} \leq \frac{(4M_{b,red}/\ell_o + \sigma_{c,Rd} t_w s_o)}{1 + (2e + d_o)/h_{eff}} + M_{c,s}/s \quad (43)$$

Wartość wyrażenia $M_{c,s}/s$ nie powinna przekraczać $V_{c,Rd}$.

Warunek ten odnosi się do otworów prostokątnych i, konserwatywnie, do otworów okrągłych.

2.3.2.1 Otwory szeroko rozstawione

W przypadku otworów szeroko rozstawionych, skutki interakcji zginania i wyboczenia w słupku środnika mogą zostać pominięte. Otwory mogą być uważane za szeroko rozstawione, gdy odległość pomiędzy ich brzegami przekracza d_o w wypadku otworów okrągłych i ℓ_o w przypadku otworów wydłużonych. W przypadku otworów szeroko rozstawionych, naprężenia ściskające mogą być określone na podstawie większej z poziomych sił tnących w dolnym lub górnym przekroju teowym, działającej na efektywnej szerokości $d_o/2$. Zastosowanie większej z tych dwu sił uwzględnia asymetrię przekroju.

$$\sigma_c = \frac{V_t}{0,5d_o t_{wt}} \geq \frac{V_b}{0,5d_o t_{wb}} \quad (44)$$

Efektywna szerokość słupka środnika jest wzięta jako $0,7 d_o$ w przypadku otworów okrągłych lub wydłużonych i d_o w przypadku otworów prostokątnych.

2.3.2.1 Zginanie słupka środnika w otworach prostokątnych

Dodatkowe sprawdzenie nośności słupka środnika przy zginaniu nie jest wymagane w otworach okrągłych lub wydłużonych, pod warunkiem, że $M_h \leq M_{h,e}$. W przypadku otworów prostokątnych lub kwadratowych, nośność przy zginaniu u góry i u dołu powinna spełniać warunek

$$V_{h,eff} d_o / 2 \leq M_{h,e} \quad (45)$$

$M_{h,e}$ jest określone równaniem (32).

3.8 Ugięcie

2.3.2.1 Dodatkowe ugięcie

Dodatkowe ugięcie wynikające z obecności pojedynczego otworu w odległości x jest określone w sposób przybliżony jako:

$$\frac{\delta_{add}}{\delta_b} = k_o \left(\frac{\ell_o}{L} \right) \left(\frac{d_o}{L} \right) \left(1 - \frac{x}{L} \right) \text{ for } x \leq 0,5L \quad (46)$$

Gdzie wartość współczynnika k_o wynosi:

$$k_o = 1,0 \text{ w przypadku otworów ze wzmocnieniami, belki zespolone} \quad (47)$$

$$k_o = 1,5 \text{ w przypadku otworów bez wzmocnień, belki zespolone}$$

$$k_o = 1,5 \text{ w przypadku otworów ze wzmocnieniami, belki stalowe}$$

$$k_o = 2,0 \text{ w przypadku otworów bez wzmocnień, belki stalowe}$$

W przypadku otworów okrągłych $\ell_o = 0,5d_o$.

W przypadku rzędu otworów o zbliżonych rozmiarach, dodatkowe ugięcie określone jest jako:

$$\frac{\delta_{add}}{\delta_b} = 0,5N_o k_o \left(\frac{\ell_o}{L} \right) \left(\frac{d_o}{L} \right) \quad (48)$$

gdzie N_o jest liczbą otworów na długości belki.

4. Belki specjalne, projektowane przy użyciu oprogramowania komputerowego

Znaczne zapotrzebowanie na belki z otworami doprowadziło do stworzenia wielu specjalnych rozwiązań. Są one tworzone przy użyciu specjalistycznego oprogramowania.

Informacje dotyczące takich produktów i dostęp do oprogramowania znajdują się pod następującymi adresami:

- www.asc.arcelor.com/EN/software/cellularbeams/default.cfm
- www.fabsec.co.uk
- www.westok.co.uk

5. Literatura

- 1 Design of composite beams with large openings (RT959), unpublished SCI Report, Ascot, 2004
- 2 Large web openings for service integrations in composite floors, Final report. RFCS Project Reference 7210-PR-315.
- 3 PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- 4 PN-EN 1993-1-5 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-5: Blachownice.

Protokół jakości

TYTUŁ ZASOBU	Informacje uzupełniające: Zasady projektowania otworów w środnikach belek		
Odniesienie			
ORYGINAŁ DOKUMENTU			
	Imię i nazwisko	Instytucja	Data
Stworzony przez	Emma Unosson	SBI	
Zawartość techniczna sprawdzona przez	Bernt Johansson	Bernt H Johansson AB	
Zawartość redakcyjna sprawdzona przez			
Zawartość techniczna zaaprobowana przez:			
1. Wielka Brytania	G W Owens	SCI	23/5/06
2. Francja	A Bureau	CTICM	23/5/06
3. Szwecja	B Uppfeldt	SBI	23/5/06
4. Niemcy	C Müller	RWTH	23/5/06
5. Hiszpania	J Chica	Labein	23/5/06
Zasób zatwierdzony przez Koordynatora Technicznego	G W Owens	SCI	12/7/06
TŁUMACZENIE DOKUMENTU			
Tłumaczenie wykonał i sprawdził:		L. Ślęczka, PRz	
Tłumaczenie zatwierdzone przez:	B. Stankiewicz	PRz	

Errata (18/1/07): Poprawiono wyrażenia (19) i (20).

Informacje ramowe

Tytuł*	Informacje uzupełniające: Zasady projektowania otworów w środnikach belek	
Seria		
Opis*	Dokument ten przedstawia zasady projektowania belek z okrągłymi i prostokątnymi otworami w środniku. Przedstawiona metoda projektowania jest odpowiednia zarówno do belek stalowych, jak i zespolonych.	
Poziom dostępu*	Umiejętności specjalistyczne	Specjalista
Identyfikator*	Nazwa pliku	D:\ACCESS_STEEL_PL\SN\SN019a-PL-EU.doc
Format	Microsoft Word 9.0; 18 stron; 548kb;	
Kategoria*	Typ zasobu	Informacje uzupełniające
	Punkt widzenia	Inżynier
Temat*	Obszar stosowania	Budynki wielokondygnacyjne
Daty	Data utworzenia	25/04/2009
	Data ostatniej modyfikacji	
	Data sprawdzenia	
	Ważny od	
	Ważny do	
Język(i)*	Polski	
Kontakt	Autor	Emma Unosson, SBI
	Sprawdził	Bernt Johansson, SBI
	Zatwierdził	
	Redaktor	
	Ostatnia modyfikacja	
Słowa kluczowe*	Belki, projektowanie konstrukcyjne, belki ażurowe	
Zobacz też	Odniesienie do Eurokodu	
	Przykład(y) obliczeniowy	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	Inne	
Sprawozdanie	Przydatność krajowa	EU
Instrukcje szczególne		